

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 601 440

(21) N° d'enregistrement national :

87 09894

(51) Int Cl⁴ : F 25 B 21/00.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 10 juillet 1987.

(30) Priorité : JP, 11 juillet 1986, n° 161873.

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPi « Brevets » n° 2 du 15 janvier 1988.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

(71) Demandeur(s) : Société dite : HITACHI, LTD. — JP.

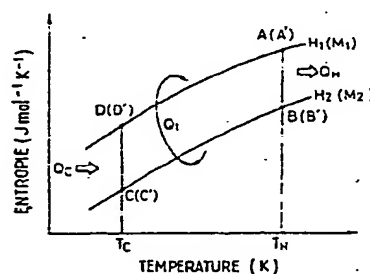
(72) Inventeur(s) : Yoshinori Hakuraku et Hideaki Mori.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Bureau D. A. Casalonga-Josse.

(54) Appareil et procédé de réfrigération par voie magnétique.

(57) Dans le procédé et l'appareil de réfrigération magnétique selon la présente invention, un cycle magnétique Ericsson ou un cycle magnétique Stirling est réalisé, un trajet thermique étant formé au moyen duquel une substance active magnétique à un stade isochamp BC de champ magnétique élevé H_2 ou à un stade d'isomagnétisation BC de magnétisation élevée M_2 est transmise à la substance active magnétique se trouvant à un stade isochamp DA de champ magnétique faible H_1 , ou à un stade d'isomagnétisation DA de magnétisation faible M_1 .



FR 2 601 440 - A1

BEST AVAILABLE COPY

D

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

"Appareil et procédé de réfrigération par voie magnétique."

La présente invention concerne un appareil et un procédé de réfrigération par voie magnétique qui utilisent l'effet magnétocalorique d'une substance magnétique. Plus particulièrement, elle est destinée à fournir un appareil
5 de réfrigération magnétique qui peut fonctionner avec un rendement élevé et sur un large intervalle de températures sans exiger de régénérateur.

Comme décrit aussi bien dans la demande de brevet japonais publiée n° 21958/1984 que dans les brevets US
10 4,332,135 et 4,441,325, etc., l'appareil de la technique antérieure nécessitait un régénérateur pour absorber et rayonner périodiquement de la chaleur dans le cas où un cycle de réfrigération magnétique devait être réalisé selon le cycle magnétique Stirling ou le cycle magnétique
15 Ericsson.

Avec la technique antérieure, quand on désire obtenir un régénérateur ayant une excellente performance, spécialement dans un intervalle de températures de 1°K à 20°K, on ne dispose d'aucune matière appropriée (solide,
20 liquide ou gazeuse) ayant une grande chaleur spécifique. Ceci a pour inconvénient que le volume du régénérateur devient très important au cours du cycle de réfrigération mettant en jeu ce régénérateur et que le procédé d'échange de chaleur devient très compliqué et le rendement du
25 régénérateur très faible.

En outre, avec la technique antérieure, dans le cas

où l'on n'atteint pas un cycle de réfrigération magnétique idéal par suite des caractéristiques thermomagnétiques de la substance active magnétique, le cycle de réfrigération magnétique ne peut pas être réalisé.

5 Un objet de la présente invention est de fournir un appareil et un procédé de réfrigération magnétique qui mettent en oeuvre un cycle de réfrigération magnétique indépendant des performances du régénérateur.

10 Un autre objet de la présente invention est de fournir un appareil et un procédé de réfrigération magnétique qui peuvent réaliser un cycle de réfrigération magnétique même lorsqu'un cycle de réfrigération magnétique idéal n'est pas atteint par suite des caractéristiques thermomagnétiques de la substance active magnétique.

15 Pour atteindre ces objets, la présente invention consiste en un appareil de réfrigération magnétique comprenant: une substance active de réfrigération magnétique qui engendre de la chaleur quand un champ magnétique lui est appliqué et qui absorbe de la chaleur quand un champ
20 magnétique cesse de lui être appliqué, un moyen d'échange de chaleur pour rayonner de la chaleur vers l'extérieur quand la substance active engendre de la chaleur de façon isothermique et pour absorber de la chaleur depuis l'extérieur lorsque la substance active absorbe de la
25 chaleur de façon isothermique, et un mécanisme de variation de champ magnétique qui peut faire varier le champ magnétique à appliquer à la substance active, un cycle magnétique Ericsson ou un cycle magnétique Stirling, ou un cycle similaire à ces cycles, étant réalisé en tant
30 que cycle de réfrigération magnétique, l'appareil de réfrigération magnétique susvisé étant caractérisé par le fait qu'il comprend un moyen d'acheminement de chaleur pour établir un trajet thermique entre un stade isochamp de champ magnétique élevé et un stade isochamp de champ
35 magnétique faible ou entre un stade d'isomagnétisation de magnétisation élevée et un stade d'isomagnétisation

de magnétisation faible au cours des deux stades isochamp ou des deux stades d'isomagnétisation du cycle de réfrigération magnétique, ces deux stades isochamp ou ces deux stades d'isomagnétisation étant réalisés par le trajet thermique basé sur lesdits moyens.

Une autre caractéristique de la présente invention réside dans un appareil de réfrigération magnétique comprenant un moyen rotatif qui comporte une substance active magnétique dans une pluralité de ses parties périphériques, un moyen fixe disposé de manière à entourer le dispositif rotatif, un dispositif de génération de champ élevé qui est disposé dans une partie du moyen fixe située en regard de la substance active magnétique, une source chaude et une source froide qui sont disposées dans les parties du moyen fixe situées en regard d'une des surfaces du moyen rotatif et correspondante aux deux côtés circonférenciels du dispositif de génération de champ élevé, et un conducteur thermique qui est disposé sur le moyen fixe et qui transmet la chaleur engendrée par la substance active magnétique se trouvant dans une région de champ élevé à la substance active magnétique se trouvant dans une région de champ faible.

Une autre caractéristique encore de la présente invention réside dans un procédé de réfrigération magnétique dans lequel, quand une substance active de réfrigération magnétique qui engendre de la chaleur lorsqu'un champ magnétique lui est appliqué et qui absorbe de la chaleur lorsqu'un champ magnétique cesse de lui être appliqué engendre de la chaleur de façon isothermique, la chaleur engendrée est rayonnée vers l'extérieur et, lorsque la substance active absorbe de la chaleur de façon isothermique, la chaleur est absorbée à partir de l'extérieur, un cycle magnétique Ericsson ou un cycle magnétique Stirling, ou un cycle similaire à ces cycles, étant réalisé en tant que cycle de réfrigération magnétique, le procédé de réfrigération magnétique susvisé étant

caractérisé par le fait qu'il comprend l'étape consistant à transmettre la chaleur de la substance active magnétique se trouvant à un stade isochamp de champ magnétique élevé ou à un stade d'isomagnétisation de magnétisation élevée à la substance active magnétique se trouvant à un stade isochamp de faible champ magnétique ou à un stade d'isomagnétisation de faible magnétisation.

D'autres caractéristiques ou avantages de la présente invention apparaîtront dans la description donnée ci-après en référence aux dessins annexés, sur lesquels:

les figures 1(a) et 1(b) sont des graphiques pour expliquer les cycles de réfrigération d'un dispositif de réfrigération magnétique selon la présente invention;

la figure 2 est un schéma pour expliquer le principe d'un mode de réalisation de la présente invention;

la figure 3 est un schéma montrant l'état des flux ou courants de chaleur dans le mode de réalisation de la figure 2;

la figure 4 est une vue en perspective éclatée d'un mode de réalisation du dispositif de la présente invention;

la figure 5(a) est une vue en coupe verticale montrant un mode de réalisation de l'appareil de la présente invention, tandis que la figure 5(b) est une vue en coupe de la partie aimant de ce dispositif;

la figure 6 est un schéma montrant un autre mode de réalisation de la présente invention;

la figure 7 est un schéma montrant l'état des flux ou courants de chaleur dans le mode de réalisation de la figure 6;

la figure 8 est une vue en perspective éclatée montrant un autre mode de réalisation de la présente invention;

la figure 9 est un graphique montrant un exemple de la relation entre la capacité de réfrigération et la vitesse de rotation, ce graphique ayant été obtenu par analyse de cycles de réfrigération;

la figure 10 est un graphique montrant un exemple

d'un lieu géométrique de cycle dans le diagramme entropie-température d'une substance active magnétique, ce graphique ayant été obtenu par une analyse de cycles de réfrigération;

la figure 11 est un graphique pour expliquer un cycle de réfrigération magnétique d'un autre mode de réalisation encore de la présente invention; et

la figure 12 est une vue en perspective de parties essentielles pour expliquer un mode de réalisation pratique qui réalise le cycle de réfrigération magnétique représenté sur la figure 11.

On va maintenant décrire la présente invention en se référant aux figures 1(a) et 1(b). Les figures 1(a) et 1(b) sont des graphiques montrant les cycles de réfrigération magnétiques de substances actives magnétiques qui sont des substances magnétiques telles que, par exemple, un grenat de gadolinium-gallium ($Gd_3Ga_5O_{12}$) et un grenat de dysprosium-aluminium ($Dy_3Al_5O_{12}$), respectivement.

Dans chaque figure, l'axe des ordonnées représente l'entropie, tandis que l'axe des abscisses représente la température et le paramètre de commande est un champ magnétique H (ou une magnétisation M). Ici, $H_1 < H_2$ (ou $M_1 < M_2$) se vérifie.

Le cycle magnétique Ericsson est composé d'une série de stades consistant en un stade isothermique à une température élevée T_H ($A \rightarrow B$), un stade isochamp pour le champ magnétique H_2 ($B \rightarrow C$), un stade isothermique à une température basse T_C ($C \rightarrow D$), et un stade isochamp pour le champ magnétique H_1 ($D \rightarrow A$).

Par ailleurs, le cycle magnétique Stirling dont le paramètre de commande est la magnétisation M est composé d'une série de stades consistant en un stade isothermique à la température élevée T_H ($A' \rightarrow B$), un stade d'isomagnétisation pour la magnétisation M_1 ($B' \rightarrow C'$), un stade isothermique à la température basse T_C ($C' \rightarrow D'$), et un stade d'isomagnétisation pour la magnétisation M_2 ($D' \rightarrow A'$).

On va décrire le procédé réel d'obtention du cycle de réfrigération magnétique de la présente invention en prenant le cas du cycle magnétique Ericsson comme exemple. Au stade isothermique AB sur le côté haute température, en supposant que ΔS_H désigne la variation de l'entropie S à ce stade, la quantité de chaleur qui est rayonnée par la substance active magnétique vers l'extérieur est $Q_H = T_H \times \Delta S_H$ au cours d'un cycle. De même, au stade isothermique CD sur le côté basse température, en supposant que ΔS_C désigne une variation d'entropie à ce stade, la quantité de chaleur qui est absorbée par la substance active magnétique depuis l'extérieur est $Q_C = T_C \Delta S_C$ au cours d'un cycle. Dans un cycle idéal, $\Delta S_H = \Delta S_C$ se vérifie et, par conséquent, $Q_C/Q_H = T_C/T_H$ se vérifie et le cycle de réfrigération magnétique est un cycle réversible. Le stade isochamp BC au champ magnétique élevé (H_2) et le stade isochamp DA au champ magnétique bas (H_1) sont reliés thermiquement par un trajet thermique, et la composante engendrée de la quantité de chaleur résultant de la diminution de l'entropie au stade BC est transformée continuellement en une composante d'absorption de la quantité de chaleur résultant de l'augmentation de l'entropie au stade DA. De cette façon, le cycle magnétique Ericsson peut être réalisé sans emmagasinement momentané de froid dans un régénérateur comme dans la technique antérieure. En ce qui concerne ladite composante de chaleur engendrée au stade BC, la quantité de chaleur Q_t est acheminée par le trajet thermique sous la forme de la composante d'absorption de chaleur au stade DA. Cette quantité de chaleur Q_t se transforme, comme représenté sur la figure 1(a). En réalité, l'acheminement de la chaleur par le trajet thermique est exécuté en fait par des trajets thermiques que l'on obtient en divisant une région de température de fonctionnement en une pluralité de parties, comme illustré sur la figure 1(b).

On va maintenant décrire le mode de réalisation d'un

appareil concret en se référant aux figures 2 et 3. La figure 2 est un schéma d'un dispositif de réfrigération magnétique du type à substance magnétique tournante pour réaliser le cycle magnétique Ericsson, la substance active magnétique étant entraînée en rotation et soumise à une action magnétique. Un rotor 1 comporte une substance active magnétique 2 assemblée à la périphérie extérieure de celui-ci. Pour supprimer la transmission de la chaleur dans le sens circonférenciel, on divise de préférence la substance active magnétique 2 en une pluralité de parties dont celles qui sont adjacentes sont isolées thermiquement. On fait en sorte que l'élément 3 constituant le rotor 1 soit un bon isolant thermique. Le rotor 1 est entraîné en rotation dans une direction 5 par un arbre 4. La référence 6 désigne une région de champ élevé qui est formée par un aimant (non représenté) et la région qui se trouve à l'opposé de ce dernier devient une région de faible champ. Quand le rotor 1 est entraîné en rotation, les parties de la substance active magnétique 2 se trouvant dans les régions respectives exécutent le cycle de réfrigération magnétique représenté sur la figure 1(a) ou 1(b), d'une façon sensiblement continue dans l'état dans lequel les phases se décalent petit à petit. Ceci étant, la substance active magnétique 2 existe dans toutes les conditions des stades respectifs du cycle de réfrigération magnétique $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ sur la circonférence du rotor 1. L'état des flux ou courants de chaleur résultant des cycles de réfrigération magnétiques ABCDA... est représenté sur la figure 3. La chaleur Q_H engendrée dans la substance active magnétique au stade de magnétisation isothermique AB est évacuée vers une source de chaleur extérieure. Au stade isochamp BC, la température de la substance active magnétique diminue. Dans ces conditions, l'entropie de la substance active magnétique décroît et la quantité de chaleur qui est alors produite par la substance active

magnétique est acheminée par le trajet thermique jusqu'à la substance active magnétique se trouvant au stade suivant DA. Cette quantité de chaleur devient Q_{t1} , Q_{t2} , ... et Q_{ti} . Au stade de démagnétisation isothermique CD, la substance active magnétique 2 absorbe la quantité de chaleur Q_C prélevée à une source de chaleur extérieure qui est un objet à refroidir. Par contre, au stade isochamp DA, la température de la substance active magnétique augmente alors que le champ magnétique est maintenu constant. Dans ces conditions, la substance active magnétique 2 reçoit par l'intermédiaire du trajet thermique les quantités précitées de chaleur Q_{t1} , Q_{t2} , ... et Q_{ti} produites au stade BC et son entropie augmente sous le champ magnétique constant. Le cycle de réfrigération magnétique est complété par la série de stades expliquée ci-dessus. Le présent mode de réalisation est tel qu'un seul cycle de réfrigération magnétique est exécuté chaque fois que le rotor 1 tourne d'un tour.

On va décrire, en se référant à la figure 4 et aux figures 5(a) et 5(b), un mode de réalisation de la structure d'un appareil pouvant être utilisé dans la pratique. Un disque fixe 7 est constitué par un dispositif 8 générateur de champ élevé, d'une source chaude 9 qui est reliée thermiquement à une source extérieure 40 de température élevée, une source froide 10 qui est reliée thermiquement à un objet extérieur 41 à refroidir, et une matière 11 thermiquement isolante. La référence 12 désigne un élément de support intermédiaire. Un disque fixe 13 est incrusté d'un conducteur thermique 14, par exemple, du cuivre, de l'aluminium ou du saphir, en tant que trajets thermiques anisotropes. Le rotor 1 est supporté par un roulement 15 monté dans le disque fixe 7 et par un roulement 16 monté dans le disque fixe 13 et il est entraîné en rotation par un dispositif d'entraînement 42 tel qu'un moteur. Le rotor 1 est logé dans le disque fixe 7, le support intermédiaire

12 et le disque fixe 13 et il est assemblé à l'aide de trous d'assemblage 17 et de vis 18. Le dispositif 8 générateur de champ élevé est formé par un aimant permanent 19. Les pôles magnétiques N et S de cet aimant peuvent
5 aussi bien être de polarités opposées à celles illustrées.

On peut aussi réaliser le cycle Stirling magnétique d'une façon simialire en remplaçant la région isochamp du cycle magnétique Ericsson par la région d'isomagnétisation.

10 Comme décrit ci-dessus, conformément au présent mode de réalisation, dans le cas du cycle magnétique Ericsson, un stade isochamp à l'endroit d'un champ magnétique élevé et un stade isochamp à l'endroit d'un champ magnétique faible sont reliés thermiquement par un moyen d'acheminement
15 de chaleur formé par un trajet thermique, grâce à quoi les cycles de réfrigération magnétique peuvent être exécutés d'une façon continue. Plus spécifiquement, la chaleur devant être évacuée extérieurement dans le cas où une substance active magnétique subit le stade isochamp (le champ
20 magnétique élevé) pendant que sa température diminue est utilisé comme source de chaleur dans le cas où la substance active magnétique subit le stade isochamp (le champ magnétique faible) quand sa température d'élève. On peut donc réaliser le cycle magnétique Ericsson sans utiliser
25 de régénérateur.

Par contre, dans le cas du cycle magnétique Stirling, les stades isochamp du cycle magnétique Ericsson mentionnés ci-dessus sont remplacés par des stades d'isomagnétisation, ce qui fait qu'un fonctionnement similaire est possible.

30 On va maintenant décrire en se référant à la figure 6 un autre mode de réalisation de la présente invention. Un rotor 19 est constitué d'une substance active magnétique 20 et d'une matière 21 thermiquement isolante. Le rotor 19 est entraîné en rotation dans une direction 23 par un
35 arbre 22. Le rotor est pourvu de deux régions 24a et 24b

de champ élevé. Les parties circonférencielles du rotor 19 qui ne sont pas des régions de champ élevé servent de région de champ faible. Selon la présente invention, la substance active magnétique peut exécuter deux cycles de réfrigération magnétique pour un tour du rotor 19. L'état des flux ou courants de chaleur dans le présent mode de réalisation est représenté sur la figure 7. Les quantités de chaleur évacuées vers l'extérieur au stade isothermique sont indiquées par Q_{H1} et Q_{H2} , les quantités de chaleur absorbées depuis l'extérieur à un stade isothermique sont indiquées par Q_{C1} et Q_{C2} et l'état des flux ou courants de chaleur empruntant les trajets thermiques anisotropes est indiqué par Q_{ti} .

Dans les modes de réalisation précédents de la présente invention, le cycle magnétique Ericsson ou le cycle magnétique Stirling, ou un cycle similaire à ces cycles, peuvent être réalisés sans disposer d'un régénérateur, de sorte que l'on peut se dispenser du régénérateur de haute performance. Il en résulte que l'on peut réaliser un appareil de réfrigération magnétique qui est compact et a un rendement élevé et qui peut fonctionner dans un large intervalle de températures.

La figure 8 montre un autre mode de réalisation encore de la présente invention. Une bague-entretoise fixe 30 comporte un dispositif 8 générateur de champ élevé qui est formé d'un aimant permanent ou analogue. Un disque fixe 31 est composé d'une source chaude 9, d'une source froide 10 et d'une matière thermo-isolante 11. Le disque fixe 31 est incrusté d'un grand nombre de bandes d'un conducteur thermique 14, par exemple, du cuivre, de l'aluminium ou du saphir, en tant que trajets thermiques anisotropes. Un rotor 1 est supporté par un roulement 16 disposé dans le disque fixe 31 et par un roulement 33 disposé dans un couvercle fixe 32. Le rotor 1 est logé dans le disque fixe 31, le couvercle fixe 32 et la

bague-entretoise fixe 30 maintenue entre les éléments fixes 31 et 32 et il est assemblé par des vis d'assemblage 18.

5 Dans le mode de réalisation de la figure 8 et dans le cas du cycle magnétique Ericsson, l'intensité du champ magnétique du dispositif 8 générateur de champ élevé peut être constante mais, dans le cas du cycle magnétique Stirling, un aimant ou analogue dont on change l'intensité du champ de façon à établir une magnétisation constante est utilisé comme dispositif 8 générateur de champ élevé.

10 De plus, dans le cas du cycle magnétique Stirling, la partie de la bague-entretoise 30 qui correspond au stade d'isomagnétisation DA à la magnétisation faible de la figure 1(a) ou de la figure 1(b) doit de préférence être formée par un dispositif de champ faible (aimant) dont on change

15 l'intensité du champ pour obtenir une magnétisation constante.

On va maintenant décrire un mode de réalisation relatif au cas dans lequel un cycle idéal de réfrigération magnétique n'est pas obtenu par suite des caractéristiques thermo- magnétiques d'une substance active magnétique.

20

Selon le graphique entropie-température, le paramètre est un champ magnétique pour une substance active magnétique et il arrive souvent que, au voisinage de la température de transition magnétique, par exemple, le point de Curie ou le point Néel où on peut obtenir un changement d'entropie particulièrement grand, la variation d'entropie entre les courbes isochamp à considérer n'est pas constante dans un intervalle de températures de fonctionnement voisin de la température de transition magnétique. Dans ce cas,

25

30 un cycle idéal de réfrigération magnétique comportant deux stades isochamp ne peut pas être réalisé.

La figure 9 est un graphique montrant un exemple du cycle de réfrigération du mode de réalisation illustré sur la figure 8. La substance active magnétique était un

35 $Gd_3Ga_5O_{12}$ monocristallin dont la quantité totale était de 0,5 mole. La température de la source chaude 9 était

$T_H=12^\circ\text{K}$, tandis que celle de la source froide 10 était $T_C=4,5^\circ\text{K}$. La région de champ faible était fixée à $H_1=0,0$ T, tandis que la région de champ élevée était fixée à $H_2=1,5$ T. Comme résultat d'analyse du cycle, on s'est aperçu que la capacité de réfrigération Q_C du mode de réalisation prend sa valeur la plus élevée à une fréquence de réfrigération d'environ 6 tours par minute, comme on peut le voir sur le graphique. Dans le graphique entropie-température de la substance active magnétique, on a représenté sur la figure 10 un lieu géométrique se rapportant au cas d'une vitesse de rotation de 3 tours par minute. Les deux stades isothermiques AB et CD sont sensiblement isothermiques aux niveaux de température respectifs. De plus, le stade isochamp DA sur le côté champ faible varie en présence d'un champ sensiblement égal. Toutefois, le stade isochamp BC sur le côté champ élevé doit combiner un stade isochamp BC et un stade adiabatique CD'. Il en est ainsi pour la raison que l'équilibre d'énergie entre le stade DA et le stade BC est indispensable. On en a tenu compte sur le diagramme entropie-température de la figure 11 et on va maintenant le décrire.

L'axe des ordonnées représente l'entropie S d'une matière magnétique que l'on utilise comme substance active, tandis que l'axe des abscisses représente la température T de la matière magnétique. Une droite 35 indique la caractéristique entropie-température dans l'isochamp faible H_1 et une droite 36 la caractéristique entropie-température dans l'isochamp élevé H_2 . En réalité, ces droites 35 et 36 sont des courbes dans de nombreux cas. Le cycle de réfrigération magnétique se déroule de la façon suivante: A \rightarrow B indique un stade de magnétisation isothermique à une extrémité température élevée, B \rightarrow C un stade isochamp en présence du champ élevé H_2 , C \rightarrow D' un stade de démagnétisation adiabatique, D' \rightarrow D un stade de démagnétisation

isothermique à une extrémité basse température et $D \rightarrow A$ un stade isochamp en présence du champ faible H_1 . Les variations d'entropie ΔS_{AB} et $\Delta S_{D'D}$ aux deux stades isothermiques $A \rightarrow B$ et $D' \rightarrow D$ sont égales. Dans le cycle magnétique Ericsson, le stade $C \rightarrow D$ n'est formé que du stade isothermique. Dans un tel cycle, le stade de démagnétisation à l'extrémité température basse est formé du "stade adiabatique \rightarrow stade isothermique" et peut être appelé "pseudo cycle magnétique Ericsson".

La figure 12 montre un mode de réalisation pour réaliser le cycle de réfrigération magnétique illustré sur la figure 11. Un trajet thermique 14a pour la région de stade BC est placé plus près d'une source chaude 9 et une région 37 de stade adiabatique est formée plus près d'une source froide 10. De plus, le dispositif 8 générateur de champ élevé représenté sur la figure 8 est disposé plus près, circonférenciellement, de la source chaude 9 de sorte que la région 37 de stade adiabatique peut devenir une région de stade de démagnétisation. Grâce à une telle disposition, le cycle de la figure 11 peut être réalisé. Par ailleurs, il est possible d'ajuster la répartition du champ de la région de champ élevé sans modifier la disposition des trajets thermiques 14. Dans ces conditions, la répartition des trajets thermiques 14b du stade DA reste inchangée. Au lieu de placer le dispositif 8 générateur de champ élevé près de la source chaude 9, il est possible de diminuer l'intensité du champ magnétique du dispositif 8 sur le côté de la source froide 10.

Dans ce mode de réalisation, il est possible d'égaliser les variations d'entropie à l'endroit des stades isothermiques aux extrémités chaude et froide de sorte que l'on peut obtenir un appareil de réfrigération magnétique capable de réaliser un cycle de réfrigération magnétique de haut rendement.

REVENDECATIONS

1. Appareil de réfrigération comportant une substance active (2;20) de réfrigération magnétique qui engendre de la chaleur quand un champ magnétique lui est appliqué et qui absorbe de la chaleur quand un champ magnétique cesse de lui être appliqué, un moyen d'échange de chaleur pour rayonner de la chaleur vers l'extérieur quand la substance active engendre de la chaleur de façon isothermique et pour absorber de la chaleur depuis l'extérieur lorsque la substance active absorbe de la chaleur de façon isothermique, et un mécanisme de variation de champ magnétique qui peut faire varier le champ magnétique à appliquer à la substance active, un cycle magnétique Ericsson ou un cycle magnétique Stirling, ou un cycle similaire à ces cycles, étant réalisé en tant que cycle de réfrigération magnétique, l'appareil de réfrigération magnétique susvisé étant caractérisé par le fait qu'il comprend un moyen (14) d'acheminement de chaleur pour établir un trajet thermique entre un stade isochamp (BC) de champ magnétique élevé (H_2) et un stade isochamp (DA) de champ magnétique faible (H_1) ou entre un stade d'isomagnétisation (BC) de magnétisation élevée (M_2) et un stade d'isomagnétisation (DA) de magnétisation faible (M_1) au cours des deux stades isochamp ou des deux stades d'isomagnétisation du cycle de réfrigération magnétique.
2. Appareil de réfrigération magnétique selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le moyen (14) d'acheminement de chaleur entre les deux stades isochamp ou les deux stades d'isomagnétisation est basé sur une conduction thermique.
3. Appareil de réfrigération magnétique selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le moyen (14) d'acheminement de chaleur entre les deux stades isochamp ou les deux stades d'isomagnétisation est constitué par

un conducteur thermique anisotrope.

4. Appareil de réfrigération magnétique selon la revendication 3, caractérisé par le fait que le conducteur thermique est disposé sur un disque fixe (7;31) voisin
5 d'un rotor (1;19) comportant la substance active magnétique (2;20).

5. Appareil de réfrigération magnétique, caractérisé par le fait qu'il comprend un rotor (1;19) qui comporte
10 une substance magnétique dans une pluralité de ses parties périphériques extérieures, un moyen fixe (7;31) disposé de manière à entourer le rotor; un dispositif (8) générateur de champ élevé qui est disposé dans une partie du moyen fixe située en regard de la substance active magnétique;
15 une source chaude (9) et une source froide (10) qui sont disposées dans des parties du moyen fixe situées en regard d'une des surfaces du rotor et correspondant aux deux côtés circonférenciels du dispositif générateur de champ élevé;
20 et un conducteur thermique (14) qui est disposé sur le moyen fixe et qui transmet la chaleur engendrée par la substance active magnétique (2;20) se trouvant dans une région de champ élevé à la substance active magnétique se trouvant dans une région de champ faible.

6. Appareil de réfrigération magnétique selon la revendication 5, caractérisé par le fait qu'une région
25 ayant une intensité de champ diminuée et qui est thermiquement isolée est prévue entre le dispositif (8) générateur de champ élevé et la source froide (9).

7. Procédé de réfrigération magnétique dans lequel, quand une substance active (2;20) de réfrigération magnétique
30 qui engendre de la chaleur lorsqu'un champ magnétique lui est appliqué et qui absorbe de la chaleur lorsqu'un champ magnétique cesse de lui être appliqué engendre de la chaleur de façon isothermique, la chaleur engendrée est rayonnée vers l'extérieur et lorsque la substance active absorbe
35 de la chaleur de façon isothermique, la chaleur est absorbée

en étant prélevée à l'extérieur, un cycle magnétique Ericsson ou un cycle magnétique Stirling, ou un cycle similaire à ces cycles, étant réalisé en tant que cycle de réfrigération magnétique, le procédé susvisé étant

5 caractérisé par le fait qu'il comprend l'étape consistant à transmettre la chaleur de la substance active magnétique se trouvant à un stade isochamp (BC) de champ magnétique élevé (H_2) ou à un stade d'isomagnétisation (BC) de

10 magnétisation élevée (M_2) à la substance active magnétique se trouvant à un stade isochamp (DA) de champ magnétique faible (H_1) ou à un stade d'isomagnétisation (DA) de faible magnétisation (M_2).

1/7

FIG. 1(a)

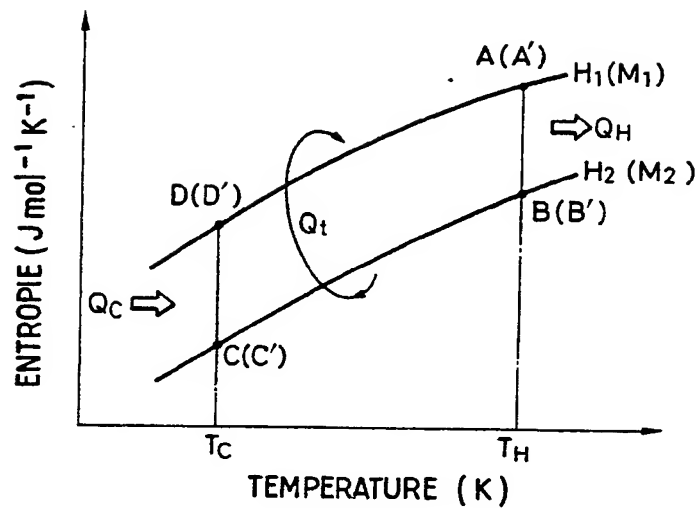
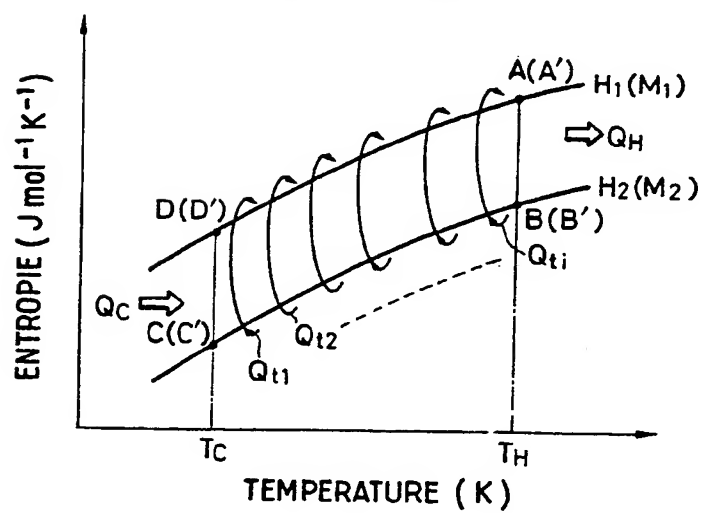


FIG. 1(b)



2/7

FIG. 2

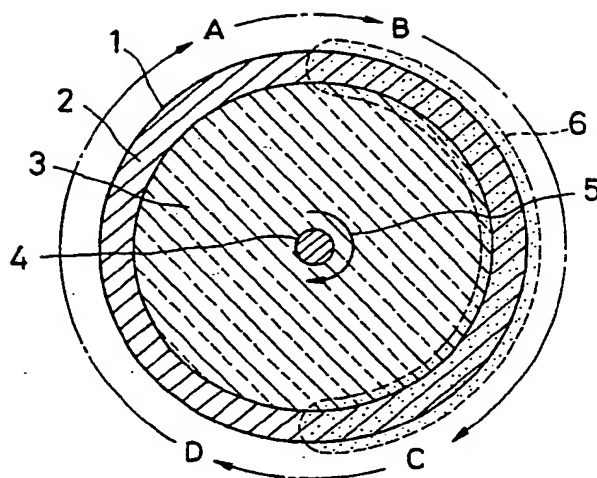
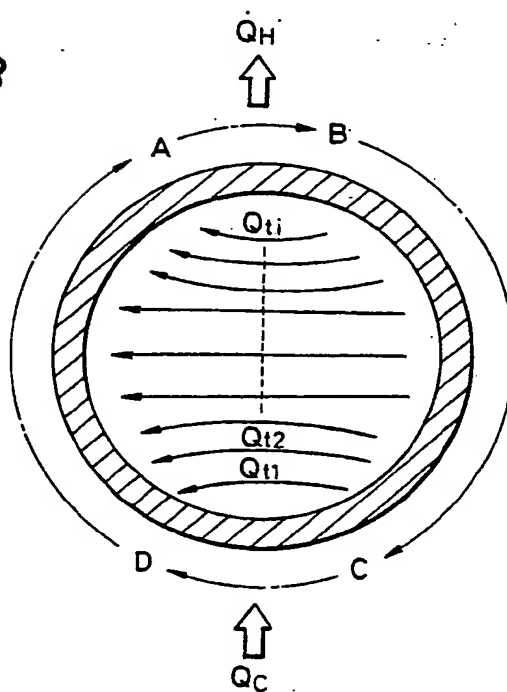
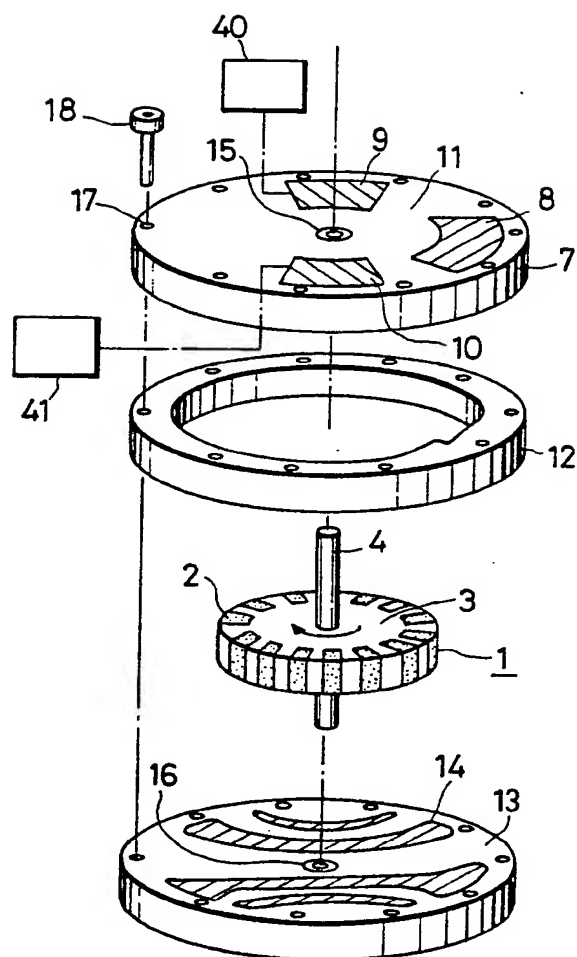


FIG. 3



3/7

FIG. 4



4/7

FIG. 5(a)

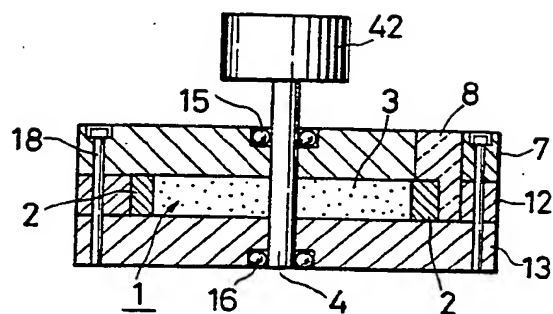


FIG. 5(b)

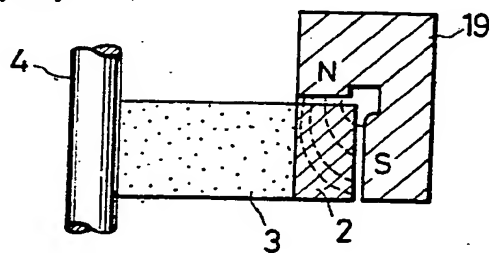


FIG. 6

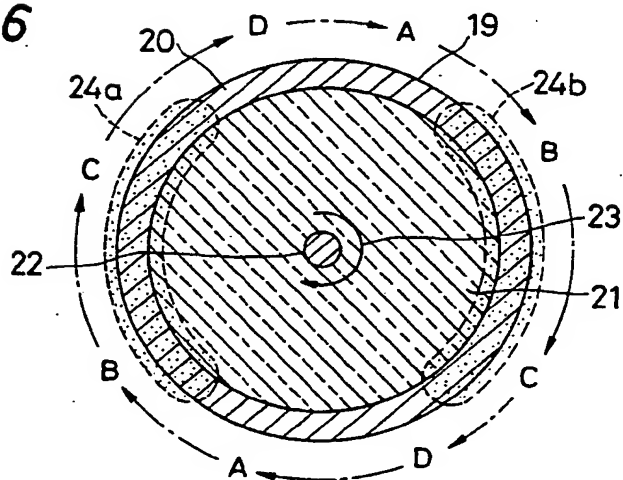


FIG. 7

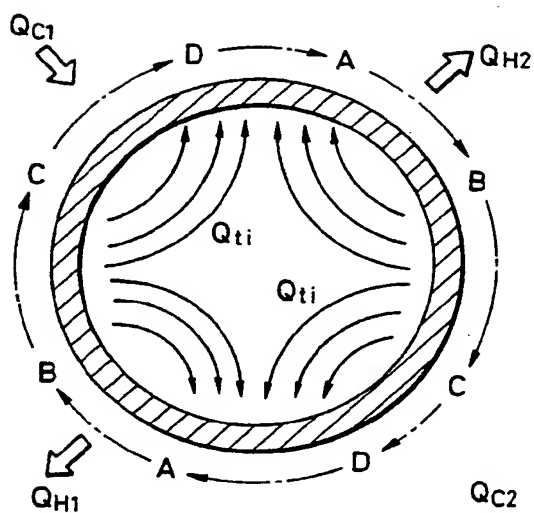
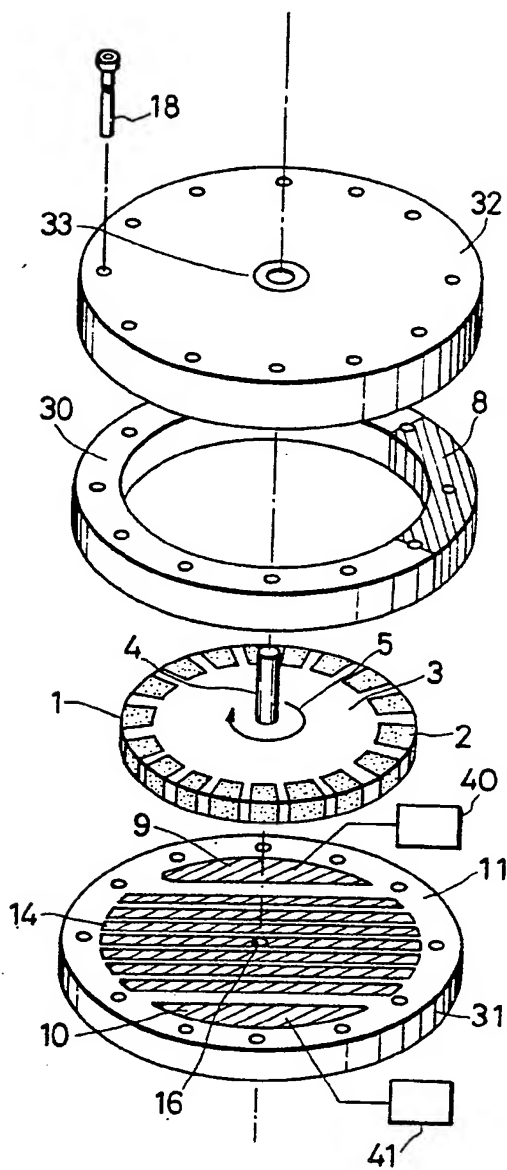


FIG. 8



6/7

FIG. 9

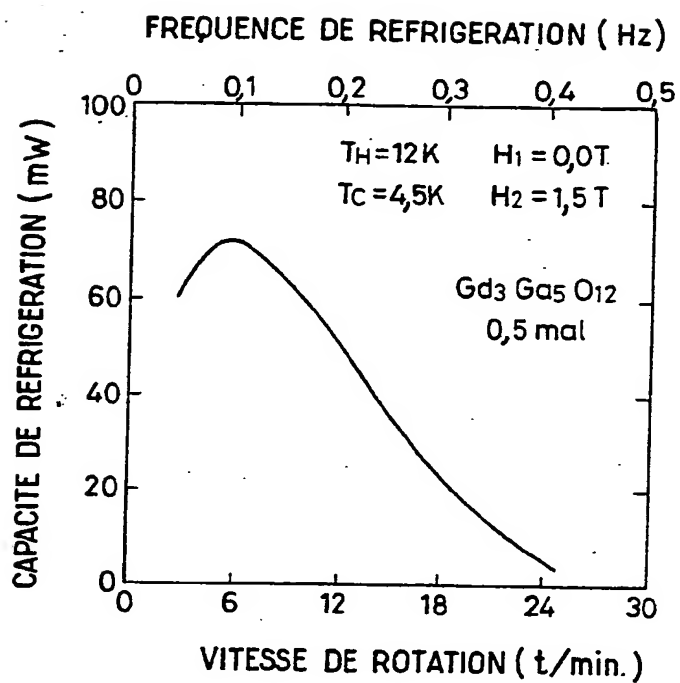
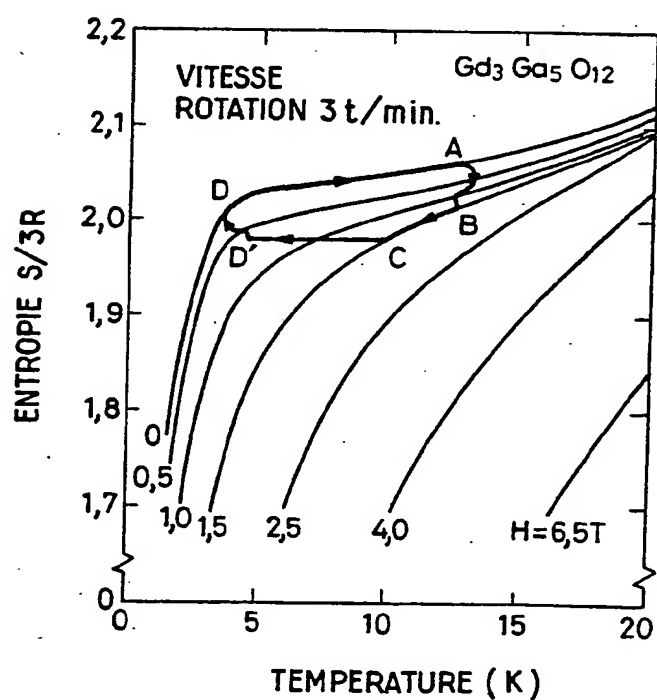


FIG. 10



7/7

FIG. 11

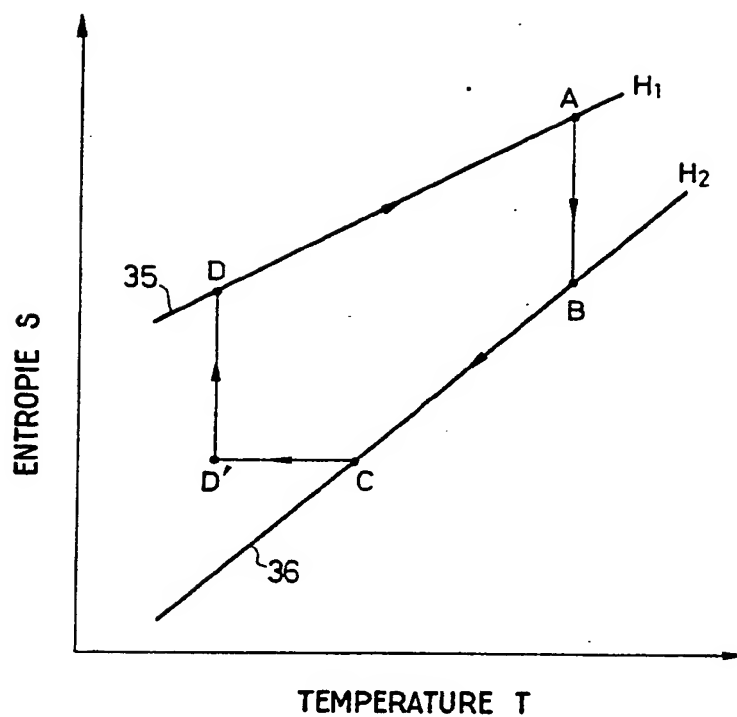
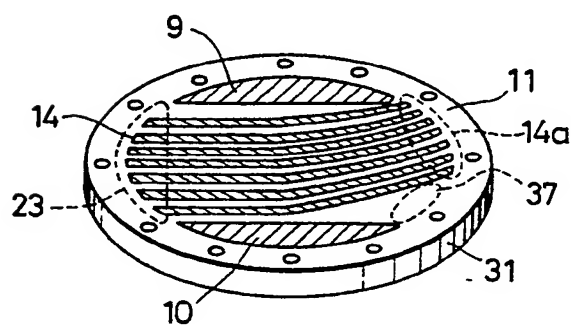


FIG. 12



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)